

УДК 62-231:621.9.04

А.М. Кириченко, доц., канд. техн. наук, С.М. Заїка, асп., Л.В. Ленченко, здобув.  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Дослідження кінематики трьохкоординатного верстата з комбінованою структурою

На основі аналізу можливих компоновок трьохкоординатного верстата, запропоновано оригінальну компоновку з комбінованою кінематичною структурою. Вирішено зворотню задачу кінематики і проведено аналіз кінематичних залежностей механізму.

**комбінована кінематика, паралелограмний поворотний механізм, штанга змінної довжини**

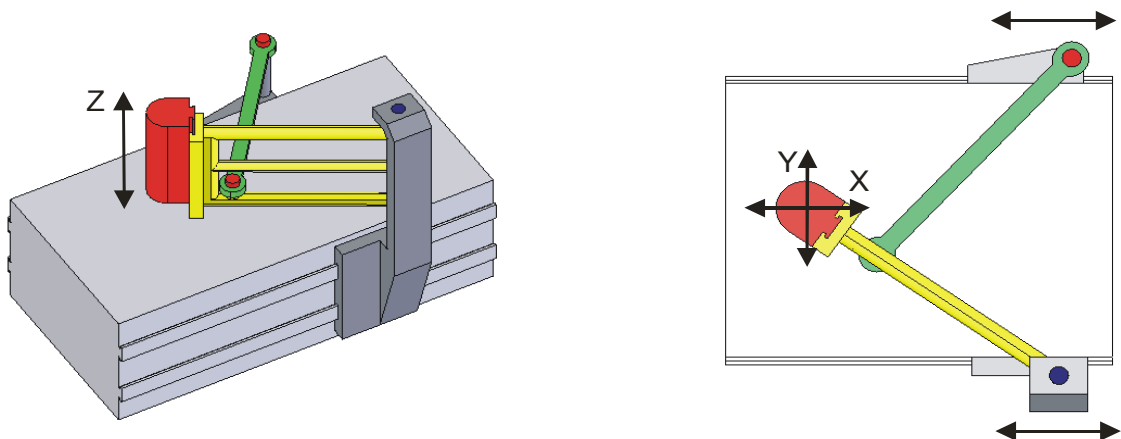
**Вступ.** В умовах глобальних геополітичних та економічних змін у суспільстві відбувається жорстка конкурентна боротьба за ринки збуту продукції, що вимагає розробки нових комплексних підходів до вирішення техніко-економічних та організаційних задач управління виробничими силами суспільства. Конкурентоспроможність продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках, а також ефективність діяльності підприємств у всіх галузях промисловості визначається рівнем використання у виробничих процесах високих технологій.

Матеріальним втіленням сучасних технологій у верстатобудуванні є обладнання з паралельною кінематикою, яке має більш широкий спектр технологічних можливостей, ніж традиційні верстати, внаслідок використання принципово нового класу просторових механізмів, основною властивістю яких є передача енергетичних потоків та рухів кількома паралельними шляхами [1].

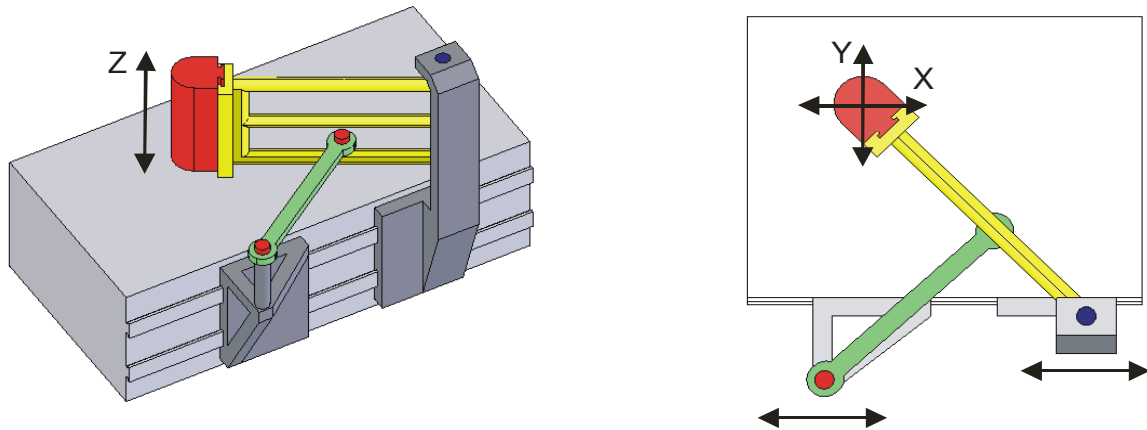
Обладнання з паралельною кінематикою, отримавши широке розповсюдження в найбільш передових галузях машинобудування для обробки металів, поступово розповсюджується і на обробку інших матеріалів. До традиційних для застосування подібних верстатів галузей машинобудування: авіакосмічної промисловості, виробництва інструментів, прес-форм і штампів, в останній час приєдналася і деревообробна промисловість, де паралельна кінематика дозволяє ефективно вирішувати завдання подальшого підвищення продуктивності обробки.

**Постановка задачі.** Аналіз основних схем механізмів з паралельною кінематичною структурою з точки зору можливості їх використання у верстатному обладнанні показує, що для трьохкоординатної обробки можна застосувати трьохкоординатні механізми (трипод, тріаглайд) або двохкоординатні (біпод, біглайд, дельта, лямбда) з додатковим лінійним приводом третьої координати [2]. Схеми типу трипода та тріаглайда вимагають додаткового застосування механізму орієнтації осі робочого органу, до того ж робоча зона трипода обмежена по довжині. Отже, найбільш простим варіантом є двохкоординатний механізм з паралельною кінематикою, сполучений з додатковим лінійним приводом третьої координати.

Варіанти реалізації таких компоновок зображені на рисунку 1. Компоновка на основі механізму «біглайд» (рис. 1,а) дозволяє отримати більший коефіцієнт використання об'єму (відношення загального об'єму верстата до об'єму його робочої зони), ніж компоновка на основі механізму «лямбда» (рис. 1, б). Однак перевагою верстата з компоновкою «лямбда» є зручність встановлення заготовок, оскільки повзун і платформа розташовані по один бік станини та рухаються по спільним напрямним, що дозволяє також зменшити витрати на придбання напрямних рейок.



а)



б)

а) на основі механізму «біглайд»; б) на основі механізму «лямбда»  
Рисунок 1 – Компоновки трьохкоординатних верстатів

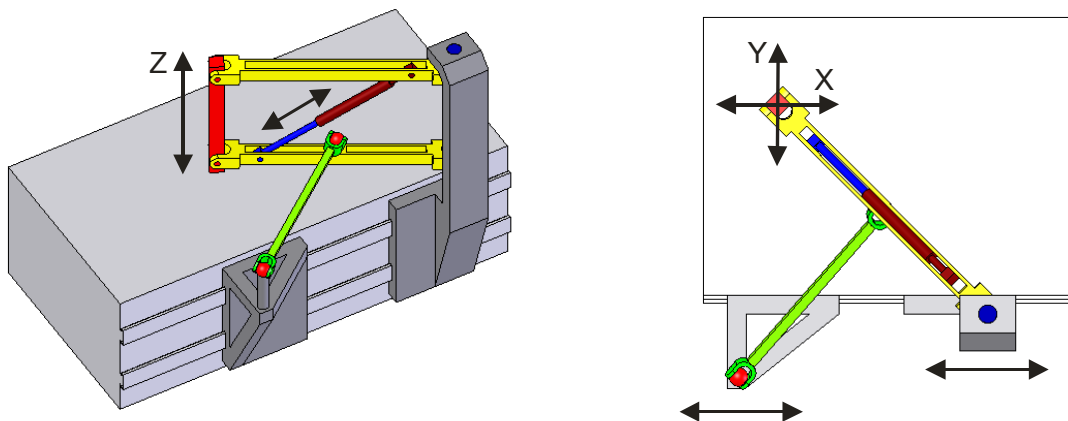


Рисунок 2 – Запропонована компоновка

Проте, одним із головних недоліків цих компоновок є використання додаткових напрямних та лінійного приводу для переміщення робочого органу по координаті  $Z$ . Внаслідок цього збільшиться вага робочого органу і приводи повзунів, які рухаються по напрямним станини, отримують додаткове навантаження, що збільшує енерговитрати та знижує ефективність.

Для покращення динамічних характеристик верстата запропоновано нову компоновку трьохкоординатного верстата, показану на рисунку 2. За основу взято механізм «лямбда», для переміщення робочого органу в напрямках осей X та Y використовуються повзун та платформа, які рухаються по спільним напрямним і шарнірно зв'язані між собою за допомогою штанги постійної довжини. Відмінністю є використання замість лінійного приводу координати Z оригінального механізму, сутність якого полягає в тому, що робочий орган шарнірно зв'язаний з платформою двома ланками, які утворюють паралелограмний поворотний механізм та шарнірно з'єднуються між собою за допомогою штанги змінної довжини, що дозволяє змінювати положення робочого органу, зберігаючи його орієнтацію у просторі [3].

Оскільки подібна компоновка запропонована вперше, постає задача аналізу кінематики розробленого механізму та дослідження його роботи.

**Кінематичні залежності механізму.** Кінематичний аналіз механізмів паралельної (комбінованої) структури є початковою стадією проектування технологічного обладнання з паралельною (комбінованою) кінематикою, яка дає можливість у подальшому перейти до дослідження динаміки та синтезу систем управління обладнання. Кінематичний аналіз передбачає розв'язання двох задач – прямої і зворотної.

Зворотна задача кінематики використовується для управління приводами верстата. Її вирішення полягає у визначенні величини переміщення приводів при відомих геометричних параметрах механізму та координатних переміщеннях робочого органу, тобто залежностей:  $q_1 = f(x, y, z)$ ;  $q_2 = f(x, y, z)$ ;  $q_3 = f(x, y, z)$ . Розрахункова схема запропонованого механізму представлена на рисунках 3 та 4.

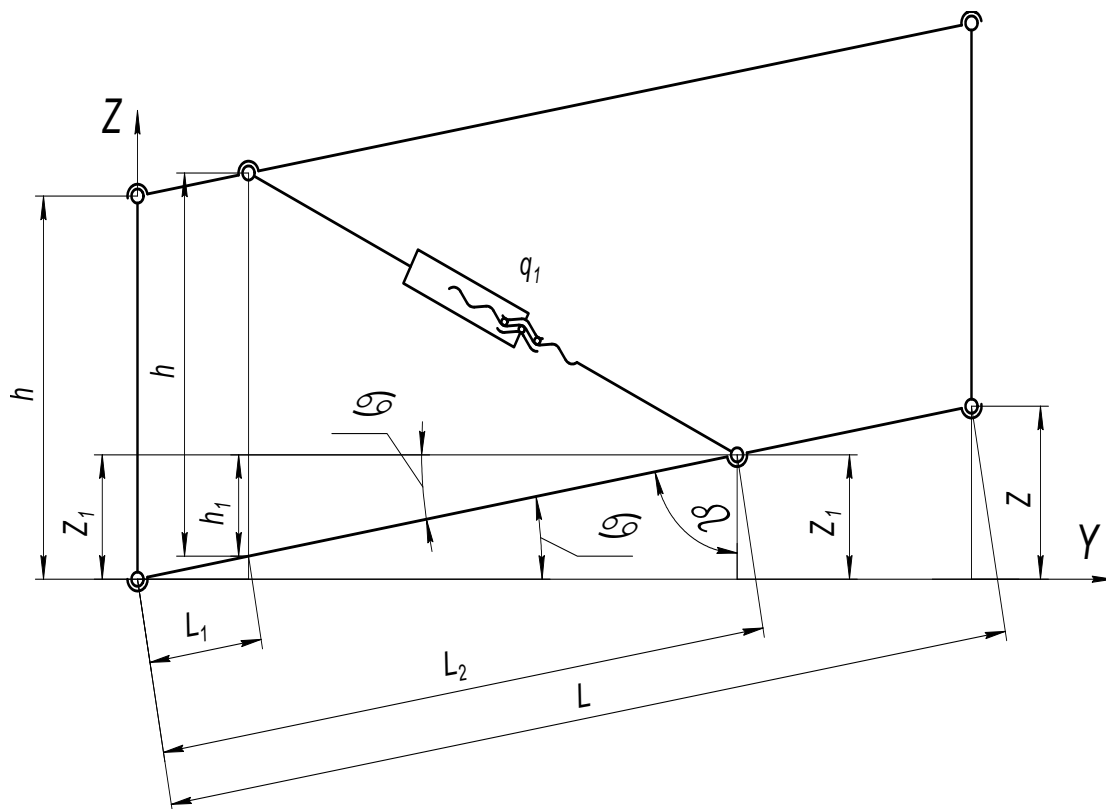
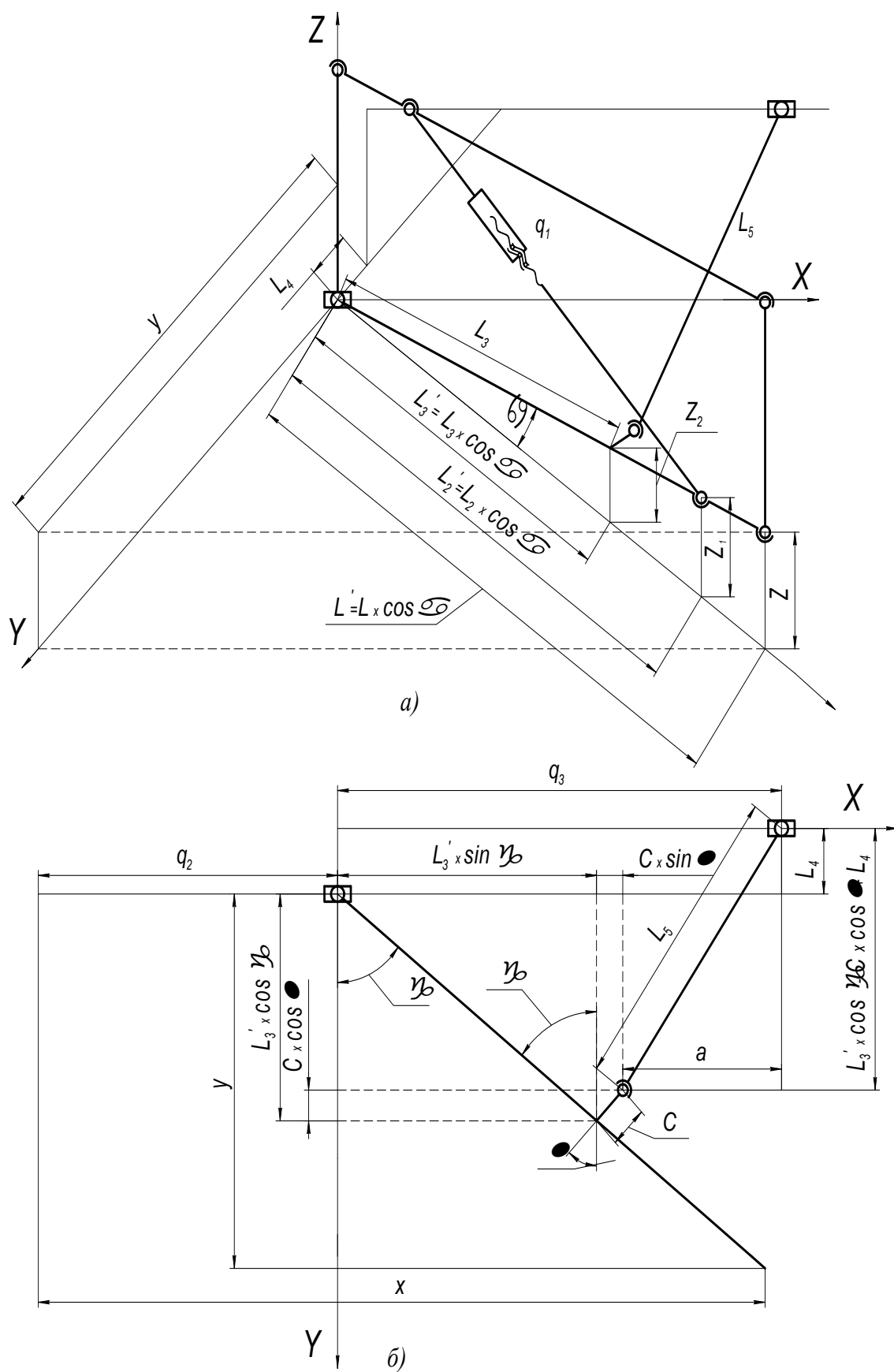


Рисунок 3 – Схема паралелограмного поворотного механізму



а) загальний вигляд; б) вигляд зверху  
Рисунок 4 – Схема механізму

Значення  $q_1$  розраховується згідно схеми (рис. 3):

$$q_1 = \sqrt{(h - h_1)^2 + ((L_2 - L_1) \cdot \cos \alpha)^2}, \quad (1)$$

де  $h$  – висота механізму, мм;

$\alpha$  – кут підйому механізму;

$L_1, L_2$  – довжини між відповідними з'єднаннями ланок, мм.

$Z$  – висота підйому механізму, мм;

$L$  – довжина механізму, мм.

$$h_1 = Z_1 \cdot \frac{L_1}{L_2}; \quad (2)$$

$$Z_1 = Z \cdot \frac{L_2}{L}; \quad (3)$$

$$\alpha = 90^\circ - \beta; \quad (4)$$

$$\beta = \arccos \cdot \frac{Z_1}{L_2}. \quad (5)$$

Звідси:

$$q_1 = \sqrt{\left[ h - \left( Z \cdot \frac{L_1}{L} \right) \right]^2 + \left[ (L_2 - L_1) \cdot \cos \left( 90^\circ - \arccos \left( \frac{Z}{L} \right) \right) \right]^2}. \quad (6)$$

Значення  $q_2$  та  $q_3$  розраховуються згідно схеми (рис. 4)

$$q_2 = x - \sqrt{L^2 - y^2 - z^2}, \quad (7)$$

де  $x, y, z$  – координати переміщення робочого органу, мм.

$$q_3 = L'_3 \cdot \sin \gamma + C \cdot \sin \lambda + a, \quad (8)$$

де  $C, L_3, L_5, L_4$  – відстані між відповідними з'єднаннями ланок, мм.

$$L'_3 = L_3 \cdot \cos \alpha; \quad (9)$$

$$\gamma = \arccos \frac{y}{L'}; \quad (10)$$

$$L' = L \cdot \cos \alpha; \quad (11)$$

$$\lambda = 90^\circ - \gamma; \quad (12)$$

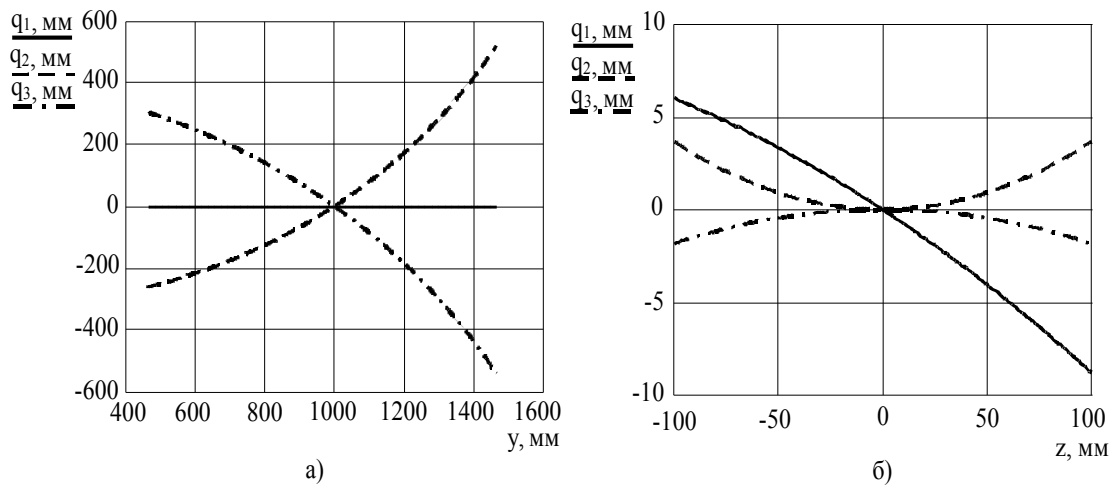
$$a = \sqrt{(L_5)^2 - (L'_3 \cdot \cos \gamma - C \cdot \cos \lambda + L_4)^2}. \quad (13)$$

Звідси:

$$q_3 = (L_3 \cdot \cos \alpha) \cdot \sin \left( \arccos \left( \frac{y}{(L \cdot \cos \alpha)} \right) \right) + C \cdot \sin \left( 90^\circ - \arccos \left( \frac{y}{(L \cdot \cos \alpha)} \right) \right) + \sqrt{(L_5)^2 - \left[ \left( (L_3 \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \left( \arccos \left( \frac{y}{(L \cdot \cos \alpha)} \right) \right) \right) - C \cdot \cos \left( 90^\circ - \arccos \left( \frac{y}{(L \cdot \cos \alpha)} \right) \right) + L_4 \right]^2}. \quad (14)$$

**Аналіз кінематичних залежностей.** Розглянуто залежності переміщення приводів від координат положення робочого органу  $Y, Z$  (рисунок 5).

З графіка (рис. 5, а) видно, що для переміщення робочого органу по осі  $Y$  на 1000 мм приводи  $q_3$  та  $q_2$  необхідно перемістити на 800 мм, в негативному та позитивному напрямках відповідно. При цьому привід  $q_1$  залишається нерухомим.



а) від координати  $Y$  робочого органа; б) від координати  $Z$  робочого органа

Рисунок 5 — Графіки залежностей переміщень приводів

Для переміщення робочого органа по осі  $Z$  на 100 мм в позитивному або негативному напрямку привід  $q_1$  зміститься відповідно на 6 та 9 мм (рис. 5, б). Одночасно приводи  $q_2$  та  $q_3$  компенсують переміщення робочого органа по координатам  $X$  та  $Y$ , зміщуючись відповідно на 2 та 3 мм.

#### Висновки і напрямки подальших досліджень.

1. Розроблений механізм забезпечує переміщення робочого органу по трьом координатам, причому для переміщення по координаті  $Z$  робочий орган шарнірно зв'язаний з платформою двома ланками, які утворюють паралелограмний поворотний механізм та шарнірно з'єднуються між собою за допомогою штанги змінної довжини. Конструкція механізму захищена патентом України.

2. Визначені зворотні кінематичні залежності механізму, необхідні для управління приводами верстата.

3. Переміщення робочого органа перевищують переміщення приводів: по координаті  $Y$  приблизно у 1,25 рази, по координаті  $Z$  – до 10 разів, що вимагає оптимізації конструктивних параметрів паралелограмного поворотного механізму.

4. Результати кінематичного аналізу дозволили окреслити напрямки подальших досліджень: оптимізація конструктивних параметрів верстата; розробка тривимірної моделі верстата; визначення робочої зони механізму, яка обмежується точністю положення робочого органа та швидкісними можливостями приводів.

#### Список літератури

1. Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Валявський І.А., Скляр Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ / Під ред. Ю.М. Кузнецова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
2. Кириченко А.Н. Станки с параллельной кинематикой: быстрее, точнее, прочнее // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2005. – №9. – С. 26-28.
3. Верстат: Патент на корисну модель №27361 України / А.М. Кириченко, В.М. Пестунов, С.М. Заїка (Україна). – Заявл. 25.06.2007; Опубл. 25.10.2007, Бюл. №17. – 2 с.

На основании анализа возможных компоновок трехкоординатного станка, выбрана компоновка с комбинированной кинематической структурой. Произведено решение обратной задачи кинематики, по результатам которой проведен анализ кинематических зависимостей механизма.

By analysis of possible structural configurations of three-way machine, the arrangement is chosen with the composite kinematics. The reverse kinematical task is solved and the analysis of kinematical dependences of mechanism is carried.